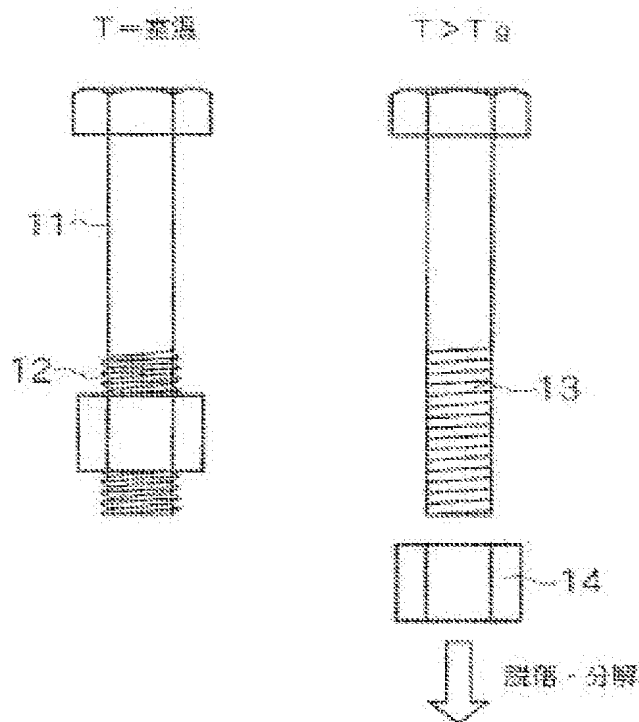


# JP2003145564 - PLASTIC PROCESSING METHOD FOR SHAPE-MEMORY POLYMER AND FASTENING BODY

Publication number: JP2003145564 (A) Also published as:  
Publication date: 2003-05-20  
Inventor(s): HAYASHI SHUNICHI; OHASHI MAKOTO; MATSUMOTO TAKEMI; NAOI MANABU; NAGATA SATOSHI JP3978014 (B2)  
Applicant(s): MITSUBISHI HEAVY IND LTD; MEIRA CORP  
Classification:  
- international: F16B35/00; B21J15/00; B29C43/02; F16B19/00; F16B35/00; B21J15/00; B29C43/02; F16B19/00; (IPC1-7): B21J15/00; B29C43/02; F16B19/00; F16B35/00; B29L1/00  
- European:  
Application number: JP20010342305 20011107  
Priority number(s): JP20010342305 20011107

## Abstract of JP 2003145564 (A)

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To materialize a fastening body which has enough fastening force at ordinary use temperatures but loses the fastening force when heated, to enable a large amount of disintegration and disassembly in a short time, and to facilitate low-cost, high-efficiency recycling. **SOLUTION:** In the fastening body made of a shape-memory polymer, a part exhibiting a fastening function is molded by secondary forming. When the original shape of the fastening part before the secondary forming is formed primarily to be a shape having no fastening function, the fastening body loses its fastening force to be disintegrated easily when heated at its glass transition temperature or above. As the secondary forming method, cold plastic processing or a heating molding-cooling fixing method is used.; As the shape-memory polymer, it is indispensable to have a large shape-recovery ratio and a glass transition temperature which can be adjusted to be enough higher than room temperature, and a polyurethane shape-memory polymer is selected.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2003-145564  
(P2003-145564A)

(43) 公開日 平成15年5月20日 (2003.5.20)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	データベース <sup>*</sup> (参考)
B 2 9 C 43/02		B 2 9 C 43/02	3 J 0 3 6
F 1 6 B 19/00		F 1 6 B 19/00	A 4 F 2 0 4
	35/00	35/00	J
// B 2 1 J 15/00		B 2 1 J 15/00	Z
B 2 9 L 1:00		B 2 9 L 1:00	
審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 12 頁)			

(21) 出願番号 特願2001-342305(P2001-342305)

(22) 出願日 平成13年11月7日 (2001.11.7)

(71) 出願人 000006208

三菱重工業株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目5番1号

(71) 出願人 592118103

メイラ株式会社

愛知県名古屋市中村区椿町17番15号

(72) 発明者 林 俊一

愛知県名古屋市中村区岩塚町字高道1番地

三菱重工業株式会社名古屋研究所内

(74) 代理人 100099623

弁理士 奥山 尚一 (外2名)

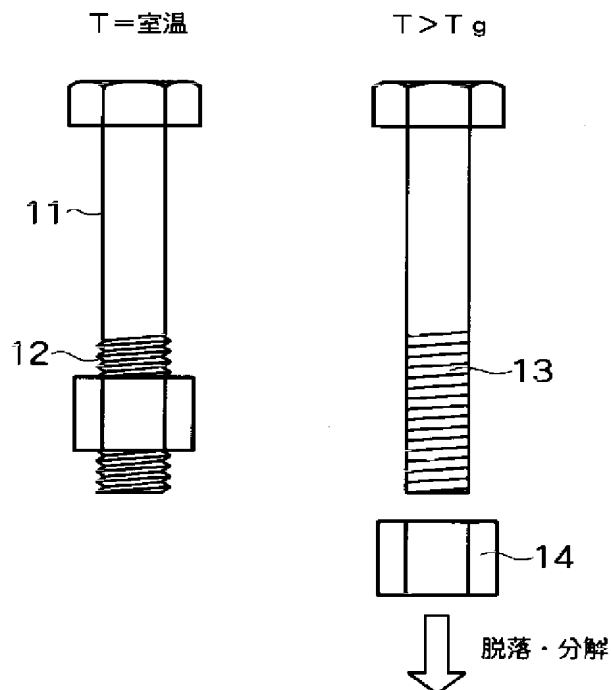
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 形状記憶ポリマーの塑性加工方法および締結体

(57) 【要約】

【課題】 通常の使用温度では十分な締結力を持ちながらも、加熱することにより締結力を失う締結体を実現し、これにより、短時間で大量の解体・分解を可能にし、低コスト、高効率なリサイクルを容易にする。

【解決手段】 形状記憶ポリマーからなる締結体において、締結機能を発揮する部位を二次賦形によって成形する。この締結部の二次賦形前の原形を締結機能を持たない形に一次賦形しておけば、ガラス転移温度以上に加熱することにより、締結体は締結力を失い容易に分解できる。二次賦形方法としては、冷間塑性加工あるいは加熱成形・冷却固定法を用いる。また、形状記憶ポリマーとしては、形状回復率が大きく、ガラス転移温度を室温より十分高い領域で調節できるものが必須であり、ポリウレタン系の形状記憶ポリマーを選択した。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 ポリウレタン系形状記憶ポリマーの塑性加工において、 $1.4 \text{ sec}^{-1}$ 以下の歪み速度を用いることを特徴とする形状記憶ポリマーの塑性加工方法。

【請求項2】 転造加工を含む塑性加工において、加工前の素材径を $d_0$ としたときに軸回転の周速に関して $3.8 \times d_0 \text{ cm/sec}$ 以下の周速を用いることを特徴とする請求項1記載の形状記憶ポリマーの塑性加工方法。

【請求項3】 ポリウレタン系形状記憶ポリマーの塑性加工において、該ポリマーのガラス転移温度を $T_g$ としたときに、 $T_g - 45^\circ\text{C}$ 以下に該ポリマーを冷却することを特徴とする請求項1又は2に記載の形状記憶ポリマーの塑性加工方法。

【請求項4】 形状記憶ポリマーからなる締結体において、一部または全部がポリウレタン系形状記憶ポリマーからなる締結体であって、該ポリウレタン系形状記憶ポリマー部分に、締結機能を発揮する、凸部、凹部、凹凸部、ねじ部、および、傾斜部からなる群より選ばれる少なくとも1つ以上の形状を有することを特徴とする締結体。

【請求項5】 前記締結機能を発揮する部位の一部あるいは全部が、請求項1～3のいずれかに記載の加工方法、または、加熱成形・冷却固定法を用いて二次賦形されたことを特徴とする請求項4記載の締結体。

【請求項6】 請求項5記載の締結体において、ポリウレタン系形状記憶ポリマーからなる締結機能部を有し、該締結機能部における外径を $d_1$ 、二次賦形前の外径を $d_0$ とし、嵌合相手となる雄形締結体の締結機能部、あるいは嵌合部の内径を $D_1$ としたときに、下式(1)及び(2)

$$d_0 < D_1 \quad (1)$$

$$d_1 > D_1 \quad (2)$$

を同時に満たすように、該締結機能部を請求項1～3のいずれかに記載の加工方法、または、加熱成形・冷却固定法を用いて作製することを特徴とする雄形の締結体。

【請求項7】 請求項5記載の締結体において、ポリウレタン系形状記憶ポリマーからなる締結機能部を有し、該締結機能部における内径を $D_1$ 、二次賦形前の内径を $D_0$ とし、嵌合相手となる雄形締結体の締結機能部、あるいは嵌合部の外径を $d_1$ としたときに、

$$d_1 < D_0 \quad (3)$$

$$d_1 > D_1 \quad (4)$$

を同時に満たすように、該締結機能部を請求項1～3のいずれかに記載の加工方法、または、加熱成形・冷却固定法を用いて作製することを特徴とする雌形の締結体。

【請求項8】 請求項5記載の締結体において、ポリウレタン系形状記憶ポリマーからなる締結機能部を有し、該締結機能部における外径を $d_1$ 、二次賦形前の外径を $d_0$ とし、嵌合相手となる雌形締結体のポリウレタン系形状記憶ポリマーからなる締結機能部、あるいは嵌合部

の内径を $D_1$ 、二次賦形前の内径を $D_0$ としたときに、

$$d_0 < D_0 \quad (5)$$

$$d_1 > D_1 \quad (6)$$

を同時に満たすように、雄形締結体の締結機能部および雌形締結体の締結機能部、または嵌合部を、請求項1～3のいずれかに記載の加工方法、もしくは、加熱成形・冷却固定法を用いて作製することを特徴とする雄形および雌形の締結体。

【請求項9】 形状記憶ポリマーからなる締結体において、締結機能を発揮する、凸部、凹部、凹凸部、ねじ部、および、傾斜部からなる群より選ばれる少なくとも1つ以上の形状を有し、該締結機能部をガラス転移温度 $T_g$ 以上に加熱して軟化させ、締結体の分離荷重を低減した状態で締結体の分解を行う分解方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、部品を本体に組み付けたり、部材同士を結合させたりするなど、物と物との締結を行う締結部品、特にねじ、ボルト、ナット、リベット、クリップ、クランプ、スナップフィット等のファスナー、などの締結体類に関する。

## 【0002】

【従来の技術】電子機器、家電製品をはじめとする電化製品、機械製品等はいくつかの部品から成り立ち、ねじやリベットを始めとする多くの締結部品で組み立てられている。ところが、これら製品を分解・リサイクルして資源を有効利用するためには、分解コストが大きな問題となっている。形状記憶材料（合金およびポリマーなど）からなる締結体を用いれば、ある温度を境に形状を変化させ、締結力を無くすることも原理的には可能となるので、分解・リサイクルと前提とした製品の締結体としては非常に優れている。よって、このような加熱分解コンセプトに基づく締結体の実現が望まれていた。

【0003】形状記憶材料を用いた締結体としては、加熱形状回復特性を用いて締結を行う締付ピンへの応用が、合金、ポリマーとも既に掲載されている（入江正浩監修：「形状記憶ポリマーの材料開発」、CMC、p.25、1989.）。さらには、同様な特性を利用して締結とは逆の分解機能を実現する締結体に関しても、基本的な提案は既に開示されている（例えば、特開平7-4407）。しかし、このような締結力に温度依存性を持たせた締結体に関しては、基本的な提案こそなされてはいるものの、未だに実用化はなされていない。これは、合金であれ、ポリマーであれ、従来試作が行われてきた材料では、その形状回復特性が小さかったり、加工（二次賦形あるいは二次成形）が難しかったからである。したがって、十分な成形性と形状回復特性とを有する材料を見出すことが実用化へ向けての第1ステップとなり、最終的にはコスト評価も必要となる。

【0004】この材料選択に関して、合金とポリマーを

比較した場合、形状回復特性はポリマーの方が圧倒的に大きい。合金ではその値は通常10%に満たないが、ポリマーでは100%を超えるものも存在する。また、コスト的にも圧倒的に有利である。代表的な形状記憶合金であるTi-Ni系合金が数十万円/kgなのに対して、形状記憶ポリマーは概ね5000円/kgと安い。このように形状記憶ポリマーは、形状回復特性に優れているため設計の自由度が大きく、低コストであるため現行の締結体を置き換える場合にも圧倒的に有利である。したがって、本発明者らはかかる理由から材料としては形状記憶ポリマーを選択し、締結体への適用を検討した。上記したように材料的に優れた形状記憶ポリマーではあるが、加工（2次賦形）技術に関しては、実用上大きな問題が存在していた。

【0005】形状記憶ポリマーの成形法は、一般に射出成形、押出し成形、注型成形、ブロー成形等であり、これらの手法により所望の形状を成形・記憶することができる（1次賦形あるいは1次成形）。この状態から変形を行うためには、ガラス転移温度 $T_g$ 以上に加熱し、ポリマーをゴム領域に遷移させる。一旦ゴム状態にしてやれば、容易に変形させることが可能となり、変形状態を保ったまま $T_g$ 以下に冷却すれば、その形状を固定化することができる。通常はこのようにして1次賦形した形状に対して新たな形状を付与している（2次賦形あるいは2次成形）。2次賦形後の成形品は、一時的に強制固定されている可逆相（ソフトセグメント）によりその変形状態が保たれているだけなので、再び $T_g$ 以上に加熱してやれば、ゴム状態になり記憶形状（1次賦形の形状）を回復させることができる。

【0006】ところが、加熱後に塑性変形を施し、冷却によって形状を固定するこの2次賦形法（加熱成形・冷却固定法）は、昇温・降温のヒートサイクルを必要とするために時間がかかり、生産性が低く、コストもかかる方法であり、量産には用いられていなかった。そこで本発明者らは、生産性は劣るものの成形精度が比較的高い加熱成形・冷却固定という手法に加えて、ポリマーに対しては従来ほとんど試みられていなかった生産性の高い冷間塑性加工法を、2次賦形法として検討するに至った。しかし、形状記憶ポリマーは粘弾性体であるために金属に比べて塑性変形能が小さく、また変形によって容易に白化・脆化を起こすために冷間塑性加工自体、非常に困難を伴う手法であることが予想され、事実、その通りであった。具体的には代表的な塑性加工方法であるプレス加工、圧造加工、転造加工を実際に試みたが、金属で従来用いられてきた条件では十分な変形量を得ることができなかった。

【0007】塑性加工が難しいことを具体的に説明するために、一例として転造加工法を取り上げる。この成形法は、転造素材を複数（通常2つ）のダイスの間で転がすことによってダイスに刻まれた形状を転写する方法で

あり、代表的な締結体であるねじ製造に用いられている。この転造法は転造速度がひとつの指標になっており、金属ねじの場合、平ダイス（板ダイス）転造盤による生産速度（ダイスのストローク速度に相当）は通常100～400本/分程度である。このように高速で転造を行うのは、生産性を確保するためでもあるが、高速転造の方が表面が平滑になるとも言われている。また、低速転造は、フライホイールの慣性を利用できないのでモーターに大きな負荷がかかってしまい、構造上好ましくない。このときの素材の転造速度（素材転がりの外周の速度）は、JISによるM6クラスのねじでは、20～80cm/sec程度のスピードとなっている。

【0008】ポリマーの転造に関しては、報告例が非常に少ないが、例えば、ポリプロピレンでは、あまりにも低速ではねじ山が立たず、望ましくは20cm/sec程度以上の転造速度が必要である（齊当健一：「プラスチックねじの現状と研究の動向」、日本ねじ研究協会誌、22巻、12号、p.385、1991.）。これは、塑性変形能に転造速度依存性があることを示唆するものであり、転造速度を下げていくと塑性変形しにくくなるという材料特性を示しているものと思われる。また、それ以下の低速転造では、ねじ山が立たないことはもちろん、転造時に滑りが生じてしまい、転造成形そのものができなくなってしまうという機構上の問題点も指摘されている。したがって、ポリマーを転造する場合には、転造速度に下限がある可能性を考慮しなければならない。

【0009】一方、高速転造では、変形熱・摩擦熱によって素材温度が上昇してしまうので、発熱の問題も考慮しなければならない。このような発熱による温度上昇はポリマーにとっては金属よりも影響が大きいはずであり、発熱を抑えるためにも転造速度はある程度遅い方が望ましいと思われる。というのは、ポリマーでは熱伝導率が金属よりも低いために熱が拡散しにくく、さらに温度上昇により材料特性が大きく変化してしまうからである。特に熱可塑性樹脂である形状記憶ポリマーの場合には、素材がガラス転移温度 $T_g$ 以上に昇温してしまうと、転造時に一旦成形されたねじ山が転造ダイスから離脱直後に形状回復してしまい、ねじ山が十分に立たない可能性が予想され得る。

【0010】以上の検討に基づき、ねじ外径の転造速度依存性を測定したところ、前記報告に記載されたポリプロピレンにおける望ましい転造速度（20～50cm/sec程度）であってもねじ山はほとんど立たなかった。なお、この実験で用いた形状記憶ポリマーはポリウレタン系のものであり、ガラス転移温度は55℃と室温よりも十分に高いものを選んだ。また、発熱を考慮して冷却を行った。この転造における実例が示す通り、形状記憶ポリマーを塑性加工するためには、金属とは異なる効果を考慮しなければならないが、当然ながら金属とは加工条件も異なる。さらに、報告例があるポリマーの加工条件を直接適用する

こともできなかった。このように従来技術では、形状記憶ポリマーに効率よく二次賦形を施すことができず、結果として、加熱分解機能を有する締結体を形状記憶ポリマーで実用化することはできなかった。

#### 【0011】

【発明が解決しようとする課題】以上述べてきたように、ある温度を境に形状を回復する形状記憶材料を用いて、締結体に温度依存性を持たせた締結体に関しては、形状回復特性、コスト、成形法、全ての点でそれを実用化し得る具体的な材料が未だ明らかになっておらず、形状回復度、材料コストの点で形状記憶ポリマーを選んでも生産性の高い二次賦形方法はなかった。したがって、室温で十分な締結力を持ちながらも、ガラス転移温度 $T_g$ 以上で締結力を失う締結体は未だ実現されておらず、量産はもちろんのこと、上記分解機能を有する締結体の実現そのものが大きな課題であった。

【0012】本発明はこのような課題を解決するためになされたもので、室温では十分な締結力を持ちながらも、ガラス転移温度 $T_g$ 以上で締結力を失う締結体の実現を目的にしている。具体的にはこのような締結体に適した形状記憶ポリマーを選定・開発するとともに、二次賦形法として加熱成形・冷却固定法を適用したり、冷間塑性加工方法を新たに開発することである。さらには、これら材料や加工方法を用いて現実的な締結部品および分

解方法を提供することである。後者に関しては、さらに次のような課題が考えられる。例えば、形状回復特性が不完全な場合には、加熱しただけでは分解は達成されないで、そのような場合でも分解を実現する手法も必要となることが予想される。

#### 【0013】

【課題を解決するための手段】以上述べてきた課題を解決し、本発明の目的とするところを達成するために、本発明においては加熱によって容易に分解が可能な締結体というコンセプトを実現し得る材料の選定・開発を第一に行った。本発明者らが選定した形状記憶ポリマーは、ポリウレタン系形状記憶ポリマー（三菱重工業(株)開発、商標名ダイアリイ）である。400%もの形状回復特性を有し、材料コストも3000円/kg程度と安い。また、表1に示す通り、形状回復温度（ガラス転移温度 $T_g$ ）の範囲が他の形状記憶ポリマーに比べて広いので、分解温度を設定する際の自由度が大きく、異なる $T_g$ を持つ締結体を用いれば、分解温度を段階的に上げることによって選択的な分解も可能になる。また、高温側までその範囲が伸びているため、製品の通常の使用温度と分解温度との差を大きく取ることができ、誤分解の危険性を極力小さくすることができる。

#### 【0014】

【表1】

表1 モノ形状記憶ポリマーの形状回復温度（ガラス転移温度 $T_g$ ）

材料	ポリウレタン系（ダイアリイ）	ステレン-ブタジエン系	トランスポリイソプレネン系	ポリフルルネン系
形状回復温度（℃）	-30～120	60～90	67	35

（主に、東レリサーチセンター編：「形状記憶ポリマーの新しい応用展開」による。）

【0015】第二の課題、すなわち、この材料の塑性加工方法に関しては、実際に実験・試作を行い、その条件を新たに見出した。二次賦形法としては、転造をメインに用い、直径 $\Phi 5.2\text{mm}$ の丸棒素材を用いてM6クラスのねじへの成形性を詳細に検討した。結果として、塑性変形量は、転造速度（歪み速度）と加工温度に大きく依存していることを見出し、それぞれに対して加工に必要な条件を導き出した。以下、課題を解決するための手段をその作用とともに記述する。

【0016】図2は、ねじ外径の張り方に転造速度依存性があることを明らかにしたグラフである。実施例での説明の通り、ねじ山を立たせるためには、少なくとも転造速度が20 cm/sec以下でなければならず、特に好ましい転造速度は、成形性から5 cm/sec以下である。なお、ねじサイズをM6クラスから変更した場合を考えると、実施例での説明の通り、加工前の素材軸外径を $d_0$ とすると、上述した転造速度条件は、 $20 \times (d_0/5.2)$  cm/sec以下と書き換えることができる。また、特に好ましい条件は、 $5 \times (d_0/5.2)$  cm/sec以下となる。

【0017】図3は、転造における応力-歪み特性に一

軸近似を適用して、図2の転造速度を歪み速度に変換したグラフである。実施例での説明の通り、少なくとも $14\text{sec}^{-1}$ 以下の歪み速度で塑性加工を行わなければならず、特に好ましい条件は、成形性から $4\text{sec}^{-1}$ 以下の歪み速度である。したがって、請求項1記載の発明は、本形状記憶ポリマーの塑性加工法において、上記歪み速度の条件を設定することによって、塑性加工の実現を図ったものである。

【0018】また、請求項2記載の発明は、前記形状記憶ポリマーの転造加工法において、転造速度の条件を設定することによって、転造加工の実現を図ったものである。本条件は雄ねじ部品ばかりではなく、ナットなどの雌ねじ部品に関しても同様に成り立つ。図4は、ねじ外径（ねじ山の成形性）に現れる冷却の効果を示したグラフである。実施例での説明の通り、ねじ山を立たせるためには、少なくとも $T_g - (55-10)$ ℃以下の冷却が必要になり、特に好ましい条件は、成形性から $T_g - 80$ ℃以下である。

【0019】したがって、請求項3記載の発明は、前記形状記憶ポリマーの塑性加工法において、上記冷却温度

の条件を設定することによって、塑性加工の実現を図ったものである。以上述べてきたように、本発明者らは、加熱によって容易に分解が可能な締結体を実現するための具体的な手段として、ポリウレタン系の形状記憶ポリマーを選定し、さらに、任意の形状に成形するための塑性加工方法を新たに開発した。また、加熱成形・冷却固定法によっても十分な二次賦形が可能なことを確認した。実用上は、第三の課題として、本材料および本加工方法の組合わせによる成形品が実際に十分な形状回復特性を示し、加熱による分解が容易に行えるかどうかが重要であるが、これは試作によって確認しており、実施例の中で詳しく述べる。

【0020】これら材料、加工方法を組合わせて実現でき、加熱分解機能を有する締結体の典型的な例を図1に示す。図はポリウレタン系形状記憶ポリマーからなるねじと金属ナットによって構成される締結体を示したもので、図1(a)は室温における嵌合状態を示したものである。二次賦形によって形成され締結機能を担う雄ねじと金属ナットの雌ねじが嵌合している。この締結体を $T_g$ 以上に加熱すると雄ねじがほぼ完全に消滅し、ナットが脱落して分解が完了する。この状態を図1(b)に示す。本発明は、このような加熱分解機能を有する締結体の作製方法と様々な構造について開示していく。

【0021】請求項4記載の発明は、締結機能部分を前記ポリウレタン系形状記憶ポリマーから構成することを特徴とするものである。特性に優れた前記ポリウレタン系形状記憶ポリマーを用いるという本発明によって、形状記憶ポリマーを用いながらも $T_g$ 以上に加熱すると容易に分解できる締結体を実現することができる。

【0022】さらに請求項5記載の発明は、請求項4記載の発明に加えて締結機能部分を前記請求項1から3に記載された方法のいずれかを用いて、あるいは加熱成形・冷却固定法を用いて二次賦形することとを特徴とするものである。本発明によれば、 $T_g$ 以上に加熱することによって、締結機能部分が形状回復し、締結機能を失うので完全な分解が可能となる。さらに、請求項6記載の発明は、互いに嵌合しあう雄形、雌形からなる締結体において、前記形状記憶ポリマーからなる雄ねじ部あるいはリング状凸部の二次賦形前の外径を嵌合相手の雌形締結体の嵌合部位の内径よりも小さくすることを特徴とするものである。本発明によれば、 $T_g$ 以上に加熱することによって、雄ねじ部あるいは凸部の外径を嵌合部位の内径よりも小さくすることが可能となり、分離荷重を零にすることが可能となる。

【0023】同様に、請求項7記載の発明は、互いに嵌合しあう雄形、雌形からなる締結体において、前記形状記憶ポリマーからなる雌ねじ部あるいはリング状凸部といった嵌合部位の二次賦形前の内径を嵌合相手の雄形締結体の嵌合部位の外径よりも大きくすることを特徴とするものである。本発明によれば、 $T_g$ 以上に加熱すること

によって、雌形部品の嵌合部位の内径を雄形部品の嵌合部位の外径よりも大きくすることが可能となり、分離荷重を零にすることが可能となる。

【0024】さらに、請求項8記載の発明は、互いに嵌合しあう雄形、雌形からなる締結体において、前記形状記憶ポリマーからなる雌ねじ部あるいはリング状凹凸部といった嵌合部位の二次賦形前の内径を嵌合相手の雄形の雄ねじあるいはリング状凹凸部の二次賦形前の外径よりも大きくすることを特徴とするものである。本発明によれば、 $T_g$ 以上に加熱することによって、雌形部品の嵌合部位の内径を雄ねじ部あるいは凹凸部の外径よりも大きくすることが可能となり、分離荷重を零にすることが可能となる。

【0025】また、請求項9記載の発明は、 $T_g$ 以上に加熱した状態で外力によって締結体を分解することとを特徴とする分解方法である。本発明によれば、形状回復が不十分な場合でも、 $T_g$ 以上の温度であれば、軟化によって締結力が著しく低下するので、分解が容易になる。形状記憶ポリマーとしては優れた特性を有する前記ポリウレタン系形状記憶ポリマーを用いることが好ましい。さらには、1次賦形のための締結体であっても、この方法を用いれば分解が容易になる。したがって、これら発明によれば、単純な、しかもわずかな引張力によって多くの締結体によって構成されている製品を一気に分解することが可能となる。

【0026】前述した本発明の作用をまとめると以下のようになる。本発明によれば、ポリウレタン系形状記憶ポリマーの材料特性を反映した塑性加工条件を指定することにより、従来困難であった冷間塑性加工による2次賦形を可能である。そして本発明によれば、ポリウレタン系形状記憶ポリマーを用いることによって、加熱によって容易に分解できる締結体を実現することが可能であり、さらに、上記加工方法を用いた締結体の基本構成を与えることにより、締結機能部分が加熱によって形状回復し、締結力を失う締結体を実現できる。

【0027】また、本発明によれば、雌部品と雄部品からなる具体的な締結体において、雌部品の内径と雄部品の外径との関係を調節することにより、室温では締結機能を発揮しながら、加熱によって締結力を失う締結構造を実現できる。さらに本発明によれば、加熱による形状回復が不完全な場合でも、加熱軟化により容易に分解を行うことができる。以上、本発明によると、優れた特性を有するポリウレタン系形状記憶ポリマーを選択することにより、さらには、前記形状記憶ポリマーの二次賦形法として、加熱成形・冷却固定法以外に冷間塑性加工を可能とすることにより、加熱分解コンセプトの締結体を実現することができる。さらには、加熱軟化による分解方法も併せて提供することにより、低コストかつ効果的な分解が可能となり、リサイクルが極めて容易になるものと考えられる。

## 【0028】

【発明の実施の形態】以下、本発明の好適な実施の形態を、具体的な実施例として図面を用いて説明する。まず、本発明の第一の実施例に係わる形状記憶ポリマーの加工方法および製造装置を説明する。本発明者らが選択したポリウレタン系形状記憶ポリマーに関しては冷間塑性加工方法のデータがなく、実際に実験・試作を行い、その条件を新たに見出した。二次賦形法としての冷間塑性加工方法としては、転造をメインに取組んだ。転造に用いた素材は直径がほぼφ5.2mmの軸部をもつ丸棒もしくはねじとしての頭部を有する素材であり、M6クラスのねじへの成形性を詳細に検討した。結果として、残留歪み量（塑性変形量、永久変形量）は、転造速度（歪み速度）と加工温度に大きく依存していることを見出し、それぞれに対して加工に必要な条件を導き出した。まず、図2は、ねじ外径の張り方に転造速度依存性があることを明らかにしたグラフである。データは平ダイス（板ダイス）転造盤、丸ダイス転造盤によるものであり、転造速度を変えた以外は標準的な条件で転造を行った。転造速度（素材転がりの外周の速度）が20 cm/sec以上では、ねじ山がほとんど立っていないので、ある程度ねじ山を立たせるためには、少なくとも20 cm/sec以下の転造速度でなければならないことが明らかとなった。また、特に好ましい転造速度は、最大塑性変形量のおよそ7割を確保でき、十分な締結力が得られる5 cm/sec以下

$$\dot{\epsilon} = \pi \omega \left( -1 + \sqrt{1 + 2\pi \frac{r\omega}{v}} \right)^{-1} \quad (7)$$

（式中、 $\dot{\epsilon}$ は歪み速度、 $r\omega$ （ $r$ が素材半径、 $\omega$ が軸回転の角速度）は転造速度、 $v$ は素材軸中心に対するダイス面（山部）の圧縮速度、をそれぞれ示す。）

このグラフより、ねじ山を立たせるためには、少なくとも14 sec<sup>-1</sup>以下の歪み速度で塑性加工を行わなければならないことがわかる。特に好ましい条件は、転造速度の場合と同様な理由により4 sec<sup>-1</sup>以下の歪み速度である。したがって、効果的な加工のためにはこれらの条件を含む速度で加工を行なう必要がある。なお、これらの条件には歪み速度を0に保持する場合も含まれる。ここでは、圧縮速度 $v$ に関して、平ダイスの場合は食付き部の角度、丸ダイスの場合はダイスの寄り速度を用いて計算を行った。このように、一旦、歪み速度に換算し、これを指標にすれば、標準的な条件から外れた転造加工、さらには、転造以外の塑性加工法にも容易にその条件を適用することができ、非常に有用である。実際に、圧造やプレス加工といった他の塑性加工法で残留歪み量（塑性変形量）の歪み速度依存性を確かめたところ、転造と同様な傾向が得られた。したがって、本条件は本材料に対する塑性加工法一般に適用可能である。

【0031】図4は、ねじ外径（ねじ山の成形性）に現れる冷却の効果を示したグラフである。実験に用いた形状記憶ポリマーのガラス転移温度 $T_g$ は55℃である。この

である。これは、塑性変形能が歪み速度によって変わるという材料特性を反映したものであり、本材料では、歪み速度を低減することによって塑性変形能が改善され、成形性が向上することが明らかとなった。

【0029】なお、ねじサイズをM6クラスから変更した場合を考えると、ねじ形状、したがってダイス形状ともJISに規定されたメートルねじでは、ねじサイズの大小によらずその形状はほぼ相似の関係を示すため（ねじ外径と素材径との比は1.1程度になる）、歪み速度は回転速度によってほぼ決定される。したがって、ねじサイズを考慮して加工前の素材（ブランク材）の軸径（ブランク径）を $d_0$ とすると、上述した転造速度条件は、 $20 \times (d_0/5.2)$  cm/sec以下と書き換えることができ、特に好ましい条件は、 $5 \times (d_0/5.2)$  cm/sec以下となる。したがって、効果的な加工のためにはこれらの条件を含む速度で加工を行なう必要がある。なお、これらの条件には転造速度を0に保持する場合も含まれる。

【0030】図3は、図2の転造速度を歪み速度に変換したグラフである。ダイスで圧縮された素材のスプリングバックを十分に小さいとみなし、一軸変形の近似を適用すると、歪み速度は転造速度と素材軸中心に対するダイス面（山部）の圧縮速度を用いて、以下の（7）式のように表すことができる。

## 【数1】

グラフより、ねじ山を立たせるためには、少なくとも10℃程度以下と室温よりも低い温度に強制冷却することが効果的であることがわかる。これは転造によって生じた発熱を強制的に取り除く効果に加え、塑性変形直後に生じるスプリングバック量の温度依存性を利用してスプリングバック量を減少させた結果とも考えられる。本形状記憶ポリマーは $T_g$ の移動によって応力-歪み特性の温度依存性もほぼ平行に移動すると考えられるので、異なる $T_g$ の材料に対しては、少なくとも $T_g - (55 - 10) = T_g - 45$ ℃以下の冷却を行う必要がある。特に好ましい条件は、最大変形量の7割を確保できる $T_g - 80$ ℃以下である。この条件は、言うまでもなく、他の塑性加工法にも適用可能である。したがって、本ポリウレタン系形状記憶ポリマーの塑性加工を行うためには、転造速度（歪み速度）を低減するとともに、素材を十分に冷却することが非常に効果的であるということがわかった。

【0032】図5は、この加工法を実現する製造装置の説明図である。図5においては、加工方法として丸ダイス転造盤による転造加工法を取り上げているが、転造装置としては平ダイス（板ダイス）転造盤やプラネタリー

転造盤、あるいは雌ねじ転造盤（タッパー）でもかまわない。丸ダイス転造法は回転する二つの丸ダイス51A、51Bの間に形状記憶ポリマーからなる素材52（ここでは丸棒材）を挟み込み、ダイス面を押し当てることによりダイスに刻まれた形状を転写する加工方法である。最終的に締結体に加工する場合の素材は頭部を含めて注型や射出成形で作製しておく。

【0033】既に、図2、図3で示したように請求項1および請求項2の条件、つまり、歪み速度 $1.4\text{ sec}^{-1}$ 以下、および転造速度 $3.8 \times d_0\text{ cm/sec}$ 以下（ $d_0$ は素材軸径）を実現するためには、駆動モーターとして低速タイプのものを用いるか、あるいはギア機構を設けて速度を低減しなければならず、ここでは高速仕様との互換性を考慮してギア機構を用いている。ダイスの回転移動速度は数値制御されるが、転造速度（素材の転がり速度）としては、成形性からして特に $0.96 \times d_0\text{ cm/sec}$ 以下の転造速度が望ましく、これは金属素材の転造速度と比較すると超低速である。しかし、素材が柔らかいポリマーであるため、大きなトルクは必要としない。

【0034】53は冷却ガス吹き付けタイプの冷却装置であり、図4に示した請求項3の冷却温度条件（ $T_g - 45^\circ\text{C}$ 以下）をクリアできる能力を有し、断熱冷却によるマイナス数十 $^\circ\text{C}$ の冷却ガス54を吹き付けることができる。温度センサー55は吹き付けノズル56に装備されており、ほぼ素材の温度を表示することができる。ここでは、冷却材としてガスを用いたが、液体を滴下してもよい。また、素材を搬送系の供給口付近57で同様な手

法を用いて冷却し、かつダイスをベルチェ素子などの冷却デバイスで冷却するなど、素材とダイスを個別に冷却してもかまわない。さらに、室温以下に冷却する場合には、転造盤の結露を防ぐため、素材、ダイス周辺に乾燥エアーを流す。

【0035】ここでは、転造盤について本加工法を実現する機構を示したが、圧造ヘッダーやプレス成形機でも同様に考えることができる。以上、本発明の第一の実施例、製造方法に関する実施例を記述した。

【0036】次に、本発明の第二の実施例に係わる形状記憶ポリマーからなる締結体について説明する。まず、図6は第一の実施例に従って作製した雄ねじの形状を示す図であり、用いたポリウレタン系形状記憶ポリマー（商標名ダイアリィ）のガラス転移温度は $55^\circ\text{C}$ である。鋼製ねじと同様な転造条件（転造速度： $33\text{ cm/sec}$ 、転造温度：室温）では、素材軸外径 $\Phi 5.24\text{ mm}$ に対して加工後の軸外径は $\Phi 5.26\text{ mm}$ とほとんどねじ山は立たなかったが、転造速度を $1\text{ cm/sec}$ まで落とし、 $-45^\circ\text{C}$ の強制冷却を行った結果、図6に示す雄ねじ形状が得られた。形状記憶ポリマーに二次賦形で締結機能を有する形状を付与したのは、恐らくこれが初めてだと思われる。また、 $70^\circ\text{C}$ に1分間保持して形状回復特性を確認したところ、図に示した通り、ほぼ完全に形状回復した。数値データを表2に示す。

【0037】

【表2】

表2 形状記憶ポリマーからなる雄ねじの数値データ

	転造前	転造状態	加熱回復後
外径 $\phi$ (mm)	5.25	5.67	5.26

【0038】以上、述べてきた冷間塑性加工だけではなく、加熱成形・冷却固定法も併せて検討した。比熱の大きな水を用いて $70^\circ\text{C}$ 、 $20^\circ\text{C}$ での加熱および冷却を行ったところ、スナッフフィット状の凸部（突起）を形成することができ、再び $70^\circ\text{C}$ に加熱することによってほぼ完全に形状回復した。ただし、二次賦形に要したヒートサイクルはおおよそ30秒であった。このように、本材料を用い、本冷間塑性加工法および加熱成形・冷却固定法を用いれば、加熱分解コンセプトを実現し得る締結体を作製することができる。

【0039】その基本構造をねじ部品を例にして図7に示す。図7（a）は、形状記憶ポリマーからなる雄形部品（ネジ）に関して、 $T_g$ 以上に加熱することによって雄ねじ部が消滅するという状態変化を表している。ここでは、簡単のために、雄ねじ部が消滅する場合を図示したが、実際には雄ねじ部外径が縮小してもよい。なお、転造によってねじを作製する場合には、ねじの軸部は転造前よりも軸方向に伸びるので、加熱形状回復を行うと軸方向に縮むことになる。

【0040】図7（b）は、形状記憶ポリマーからなる雌形部品（ナット）に関して、 $T_g$ 以上に加熱することによって雌ねじ部が消滅するという状態変化を表している。ここでは、簡単のために、雌ねじ部が消滅する場合を図示したが、実際には雌ねじ部内径が拡大してもよい。

【0041】次に、図7の（c）～（e）は上記ねじ部品を用いた締結体の分解状態を示したものである。図7（c）は、請求項6に対応し、互いに嵌合しあう雄形、雌形からなる締結体において、前記形状記憶ポリマーからなる雄ねじ部の二次賦形前の外径 $d_0$ を嵌合相手の雌ねじ部の内径 $D_1$ よりも小さくすることを特徴とする締結体を示したものである。二次賦形後の雄ねじ部の外径を $d_1$ とすると、式（1）は分解条件を表し、式（2）は締結条件を表す。

$$d_0 < D_1 \quad (1)$$

$$d_1 > D_1 \quad (2)$$

したがって、 $T_g$ 以上に加熱することによって、雄ねじ部の外径を雌ねじ部の内径よりも小さくすることが可能と



なり、分離荷重を零にすることが可能となる。ただし、実際には、形状回復率は100%にはならないので、形状回復した後の雄ねじ部の外径を $d_0'$  ( $> d_0$ ) とする

と、式(1)は

$$d_0' < D_1 \quad (8)$$

と若干厳しい条件となる。ここでは、簡単のために、雄ねじ部が消滅する場合を図示したが、実際には雄ねじ部外径が縮小してもよく、頭部が縮小・消滅してもよい。

【0042】図7(d)は、請求項7に対応し、互いに嵌合しあう雄形、雌形からなる締結体において、前記形状記憶ポリマーからなる雌ねじ部の二次賦形前の内径 $D_0$ を嵌合相手の雄ねじ部の外径 $d_1$ よりも大きくすることを特徴とする締結体を示したものである。二次賦形後の雌ねじ部の内径を $D_1$ とすると、式(3)は分解条件を表し、式(4)は締結条件を表す。

$$d_1 < D_0 \quad (3)$$

$$d_1 > D_1 \quad (4)$$

したがって、 $T_g$ 以上に加熱することによって、雌ねじ部の内径を雄ねじ部の外径よりも大きくすることが可能となり、分離荷重を零にすることが可能となる。ただし、実際には、形状回復率は100%にはならないので、形状回復した後の雌ねじ部の内径を $D_0'$  ( $< D_0$ ) とする

$$d_0' < D_0'$$

となり、式(5)よりも若干厳しくなる。ここでは、簡単のために、雄ねじ部および雌ねじ部が消滅する場合を図示したが、実際には雄ねじ部外径が縮小したり、頭部が縮小・消滅したり、雌ねじ部内径が拡大してもよい。

【0044】このような、雄ねじ部、雌ねじ部の製造方法は、塑性加工による。具体的には、転造、圧造、プレス成形である。転造の場合、通常の金属製品と同様、雄ねじは転造ダイスを用いた転造、雌ねじのは塑性加工タイプの転造タップを用いた転造を行えばよい。なお、雄ねじ部の外径が縮小する場合、雌ねじ部の内径が拡大する場合には、切削加工でねじ部を成形することもできる。さらに、雌ねじ部の内径が拡大する場合には、タッピングねじによって雌ねじ部を成形してもよい。

【0045】圧造の場合、素材を軸方向に圧縮すると素材自身が径方向に広がろうとするので、割ダイスにより雄ねじを成形する。雌ねじでは素材を軸方向に圧縮すると内径方向に収縮しようとするので雄ねじが形成されているダイスを挿入した状態で素材を軸方向に圧縮し、雌ねじを成形する。あるいは、素材内に雄ねじが形成されているダイスを挿入した状態でテーバー状に内径が狭くなっているダイスの中へ圧入することによって素材の径方向に圧縮し、雌ねじを成形する。

【0046】プレスの場合、雌ねじ形状が形成された割ダイスを径方向に押し当てて雄ねじを成形する。雌ねじの場合には、素材に雄ねじが形成されているダイスを挿入した状態で径方向に単純に圧縮すればよい。圧造、プレスの場合、雌ねじ成形のために穴に挿入した、雄ねじ

と、式(3)は

$$d_1 < D_0' \quad (9)$$

と若干厳しい条件になる。ここでは、簡単のために、雌ねじ部が消滅する場合を図示したが、実際には雌ねじ部内径が拡大してもよい。

【0043】さらに、図7(e)は、請求項8に対応し、互いに嵌合しあう雄形、雌形からなる締結体において、雄ねじ、雌ねじとも形状記憶ポリマーの二次賦形によって形成されている場合に、雌ねじ部の二次賦形前の内径を嵌合相手の雄ねじ部の二次賦形前の外径よりも大きくすることを特徴とする締結体を示したものである。今までの記号を用いると、式(5)は分解条件を表し、式(6)は締結条件を表す。

$$d_0 < D_0 \quad (5)$$

$$d_1 > D_1 \quad (6)$$

したがって、 $T_g$ 以上に加熱することによって、雌ねじ部の内径を雄ねじ部の外径よりも大きくすることが可能となり、分離荷重を零にすることが可能となる。このとき、式(5)、(6)からなる条件は、請求項6、7の条件よりも緩くなる。ただし、実際には、形状回復率は100%にはならないので、形状回復後の内外径を用いると

$$(10)$$

が形成されているダイスは、雌ねじ成形後、雌ねじあるいはダイスのどちらかを回転させながら引抜けばよく、割ダイスにしておけばダイスの組み方を変えて割ダイス全体の外径を縮小することにより、ダイスを単純に引抜くことも可能になる。

【0047】ここで具体的に述べた方法以外にも、もちろん、加熱成形・冷却固定による成形方法を用いてもよい。実際、式(1)、(6)に従い、雄ねじの転造前外径をナット部品の内径よりも0.1mm小さくすることにより、加熱分解コンセプトを実現した締結体のデータを図8に示す。作製した締結体は両側に雄ねじ部を有するスタッドタイプのねじであり、嵌合相手には金属ナットを用いた。図8(b)は恒温槽の中で引張り試験を行った分解試験のイメージ図であり、図8(a)は試験結果である。図8(b)に示す通り、転造状態のねじを室温で引張ったものは、通常の金属ねじ同様軸部ではなくねじ部で破断し、ねじ山自体の強度が高いことを示した。また、その時の最大引張り荷重は119.1kgfと十分な値を示した。この値は有効断面積を用いて応力表示に換算すると58MPaとなるが、これは硬質塩化ビニール(PVC)が示す値(47~51MPa)よりも大きく、ポリカーボネート(PC)が示す値(54~60 MPa)と同等である。つまり、ポリマーねじ(プラスチックねじ)として十分な強度を有することが確認できた。次に $T_g+20^\circ\text{C}$ で形状回復後、室温ならびに $T_g+20^\circ\text{C}$ での分解モードを確認しようとしたところ、加熱途中で雄ねじが消滅し、重力により金属ナットが脱落して分解した。

【0048】以上のようにポリウレタン系形状記憶ポリマーを用い、新たに開発した加工方法を駆使し、雄ねじの外径と形状回復後の外径、雌ねじ内径との間に適切な条件を設定すれば、加熱分解機能を有する図1のような締結体を実現することが可能となる。なお、この実施例では、雄ねじとナットという単純な組み合わせであったが、他の機能を有する雄ねじ部品と雌ねじ部品という組み合わせでも同様に加熱分解機能をもつ締結体が得られる。

【0049】次に、本発明の第三の実施例に係わる形状記憶ポリマーの締結体について説明する。第二の実施例はいわゆるねじ部品に関するものであり、それ以外の、スナッフフィット等の締結体を第三の実施例として図9に取り上げる。図9(a)は請求項6、図9(b)は請求項7、図9(c)は請求項8に対応する構造である。内径、外径に関する条件、および作製方法は第二の実施例の場合と同様である。また、図には明らかに示されていないが、雄形締結体に関しては締結機能部の外径が縮小してもよく、雌形締結体に関しては締結機能部、あるいは嵌合部の内径が拡大してもよい。嵌合部の内径が拡大するとは、例えば、91e状のスナッフフィットに対して嵌合相手のパイプ状雌部品の内径が拡大して分解する場合を指す。なお、図9では、簡単のため断面構造のみを示すとともに被締結物は図7と同様省略している。

【0050】最後に、本発明の第四の実施例に係わる形状記憶ポリマーからなる締結体の分解方法について説明する。本発明は請求項9に記載された分解方法に関するものであり、形状記憶ポリマーからなる締結体を $T_g$ 以上に加熱して軟化させ、分離荷重を低減させて分解を容易にする手法である。図10にその実例を示す。雄ねじ部品は形状記憶ポリマーからなり、雌ねじ部品は金属製である。ナット部品の内径を雄ねじの転造前外径よりも0.1mm小さくした点以外は、第二の実施例の図8と同様である。このとき、雄ねじ部の二次賦形前の外径は雌ねじ部の内径よりも大きく、 $T_g$ 以上に加熱しても重力による自動的な分解は起こらない。ところが、急激に軟化するため、 $T_g$ 以上の温度条件では微小な外力で分解することが可能になる。実際、転造状態での最大引張り荷重は、119.2kgfであったが、 $T_g+20^\circ\text{C}$ に加熱したまま引張ると僅か0.8kgfの力で分解可能であった。したがって、分解に際して微小な外力を想定することが許容されるならば、加熱により完全に形状回復する必要性はなく、二次賦形を行わない一次賦形のままの形状でもよく、さらには切削加工で締結機能部を成形してもよい。この分解方法によれば形状の制約をほとんど受けることなく、多種多様な構造の締結体を僅かな外力で一度に分解することができる。図11および図12に対象となり得るプラスチック締結体の構造を示す。なお、本分解法の性質上、実施例2、3の締結体も本分解法の対象になる。また、これら締結体は請求項4から8のいずれかに対応してい

るが、本分解方法では、二次賦形の必要性、形状回復特性等の制限が緩和され得るので、特にポリウレタン系の形状記憶ポリマーでなくてもかまわない。

【0051】

【発明の効果】本発明によれば、ポリウレタン系形状記憶ポリマーの材料特性を反映した塑性加工方法により、従来困難であった冷間塑性加工法を可能にした。これによって、ポリウレタン系形状記憶ポリマーの二次賦形が量産レベルで可能になり、複雑な形状を持ち、加熱形状回復特性を有するなど付加価値の高い形状記憶ポリマー製品を安価で大量に供給できるようになる。また、本発明によれば、加熱によって形状を回復する製品、特に締結体を製造することが可能となり、これによって、室温では十分な締結力を持ちながらも、ガラス転移温度 $T_g$ 以上で締結力を失う締結体の実用化が可能になる。さらに本発明によれば、前記加熱分解機能を有する締結体の加熱による形状回復が不完全な場合でも、加熱軟化により容易に分解を行うことができる。

【0052】これらによって、従来破碎によって分解していた製品でも容易に解体することが可能になるので部品に損傷を与えないリサイクルが可能になる。また、作業者の負担を減じ、また安全性を向上することが可能になり、分解・リサイクルに要する時間を大幅に削減することも可能になるので、コスト低減にも大きく貢献できる。このため、来るべきリサイクル社会の到来を加速化することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 形状記憶ポリマーからなる加熱分解機能を有する締結体の概念図である。

【図2】 ねじ外径の転造速度依存性を示す特性図である。

【図3】 ねじ外径の歪み速度依存性を示す特性図である。

【図4】 ねじ外径の転造温度依存性を示す特性図である。

【図5】 本発明の第一の実施例に係わる製造装置の説明図である。

【図6】 本発明の第二の実施例に係わる雄ねじの形状と加熱形状回復後の形状を示す説明図である。

【図7】 本発明の第二の実施例に係わる締結体(ねじ部品)の加熱分解を示す説明図であり、(a)は、雄ねじ部品の加熱形状回復を示す説明図、(b)は、雌ねじ部品の加熱形状回復を示す説明図、(c)は、雄ねじ部品の加熱形状回復による分解を示す説明図、(d)は、雌ねじ部品の加熱形状回復による分解を示す説明図、(e)は、雄ねじ部品、雌ねじ部品の加熱形状回復による分解を示す説明図である。

【図8】 本発明の第二の実施例に係わる形状記憶ポリマーからなる締結体の保持/加熱分解特性を示す図表であり、(a)は、試験結果を示す表、(b)は、試験イ

メージ図である。

【図9】 本発明の第三の実施例に係わる締結体の構造および加熱分解を示す説明図であり、(a)は、雄形部品の加熱形状回復による分解を示す説明図、(b)は、雌形部品の加熱形状回復による分解を示す説明図、

(c)は、雄形部品、雌形部品の加熱形状回復による分解を示す説明図である。

【図10】 本発明の第四の実施例に係わる分解手法を適用した締結体の保持/加熱分解特性を示す図表である。

【図11】 本発明の第四の実施例に係わる締結体の斜視図であり、(a)は、雄ねじ部品の斜視図、(b)は、雌ねじ部品の斜視図である。

【図12】 本発明の第四の実施例に係わる締結体の斜視図であり、ファスナー部品の斜視図である。

【符号の説明】

11 形状記憶ポリマーからなるねじ

12 二次賦形によるねじ

13 形状回復して消滅したねじ部

14 ナット

51A、51B 丸ダイス

52 転造素材

53 冷却装置

54 冷却ガス

55 温度センサー

56 吹き付けノズル

57 搬送系

71a~71h ねじ

72a~72h ナット

91a~91n 雄形部品

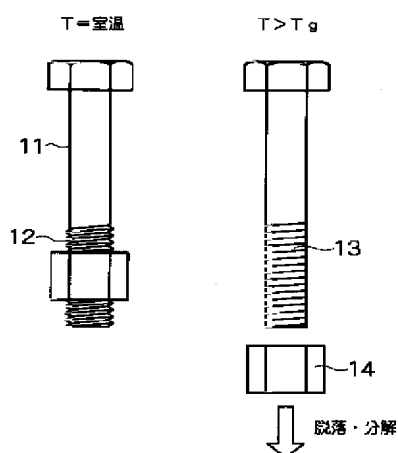
91a~92n 雌形部品

111a~111l 形状記憶ポリマーからなるねじ類

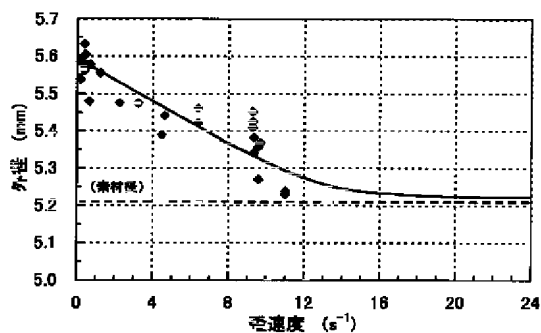
112a~112e 形状記憶ポリマーからなるナット類

113a~113x 形状記憶ポリマーからなるファスナー類

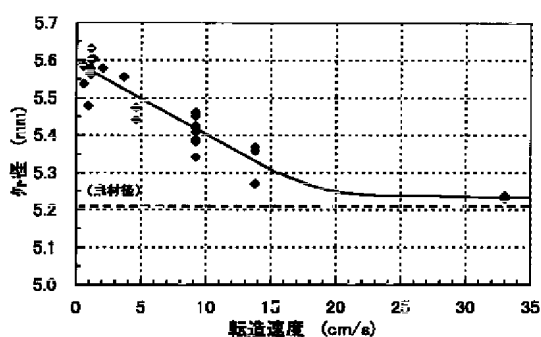
【図1】



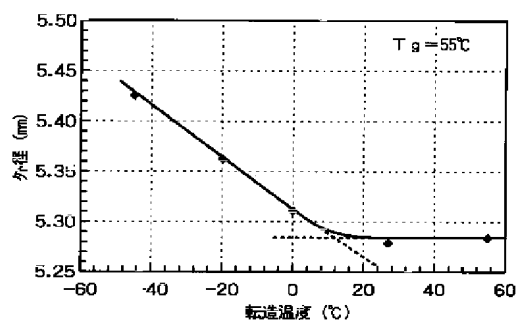
【図3】



【図2】



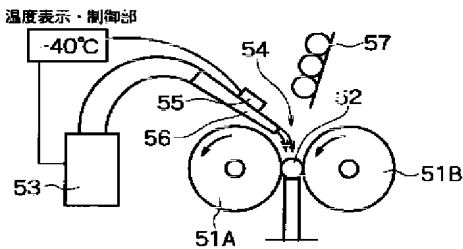
【図4】



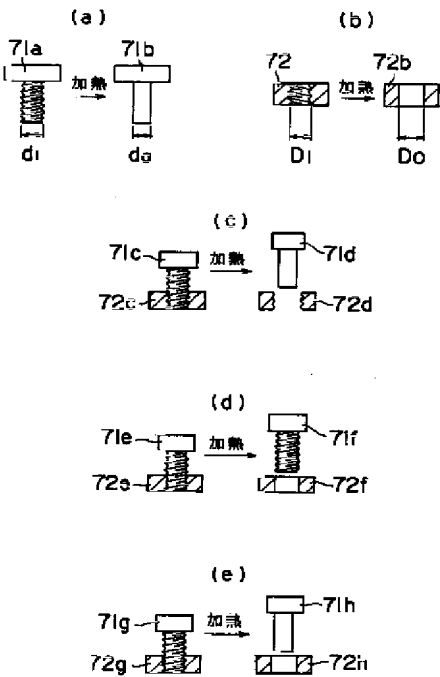
【図6】

	転造状態	加熱回復後
ねじ形状		

【図5】



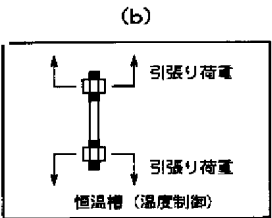
【図7】



【図8】

(a)

引張り前の状態	転造状態	加熱回復後	
引張り時の温度	室温	室温	T <sub>g</sub> +20℃
最大引張り荷重 (kgf)	119.1	0	0
終了モード	ねじ部破断	昇温中ナット脱落	昇温中ナット脱落
分解モード	破壊	外力不要	外力不要

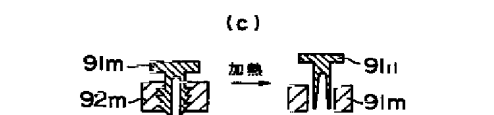
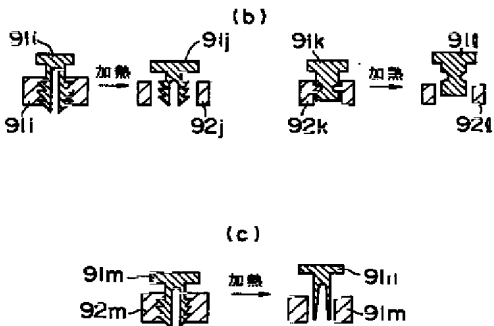
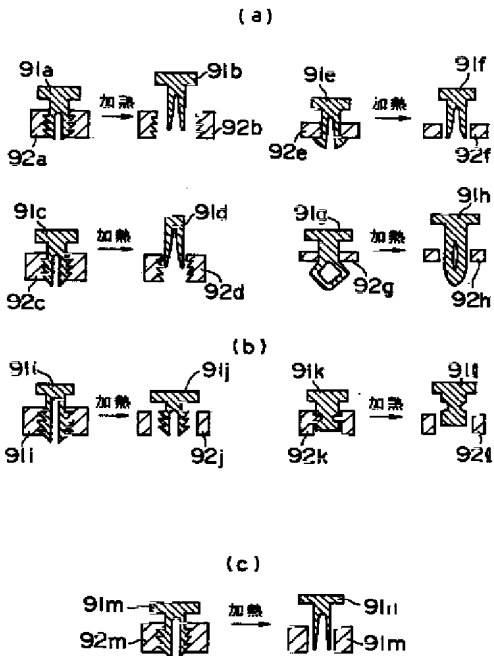


引張り・分解試験イメージ

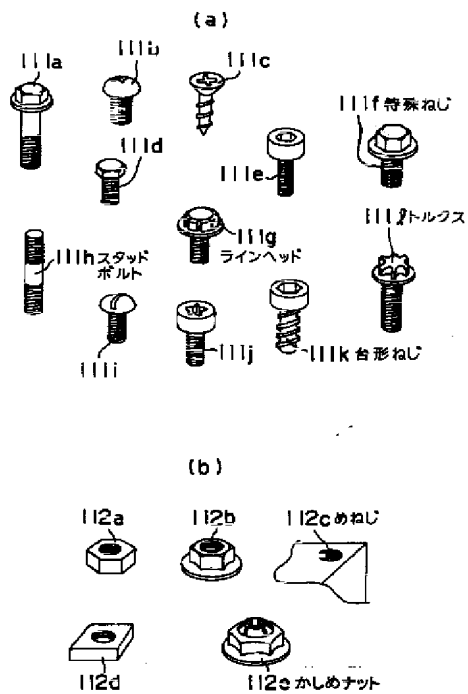
【図10】

引張り前の状態	転造状態	加熱回復後	
引張り時の温度	室温	室温	T <sub>g</sub> +20℃
最大引張り荷重 (kgf)	119.2	83.4	0.8
終了モード	ねじ部破断	ナット抜け	ナット抜け
分解モード	破壊	外力必要	外力必要

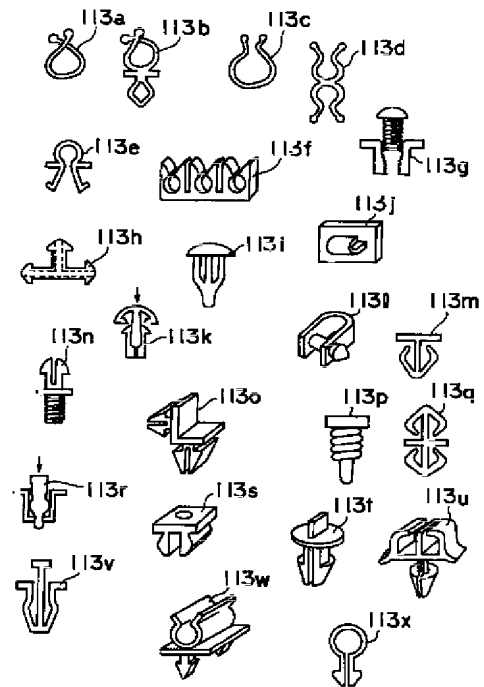
【図9】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

(72)発明者 大橋 真  
愛知県名古屋市中村区椿町17番15号 メイ  
ラ株式会社内  
(72)発明者 松本 健巳  
愛知県名古屋市中村区椿町17番15号 メイ  
ラ株式会社内

(72)発明者 直井 学  
愛知県名古屋市中村区椿町17番15号 メイ  
ラ株式会社内  
(72)発明者 永田 佐登司  
愛知県名古屋市中村区岩塚町字九反所60番  
地の1 中菱エンジニアリング株式会社内  
Fターム(参考) 3J036 AA03 BA01 BA03  
4F204 AA31 AA42 AE01 AG28 AH06  
AR06 AR08 FA01 FB01 FN11  
FN15